

3-level 계층 64QAM 기법의 정규화 인수

유 동 호*, 김 동 호^o

Normalization Factor for Three-Level Hierarchical 64QAM Scheme

Dongho You*, Dong Ho Kim^o

요 약

본 논문에서는 디지털 방송시스템의 전송방식에서 널리 사용 되고 있는 계층 변조 (Hierarchical Modulation)를 고려한다. 계층 변조기법은 다수의 독립적인 데이터 스트림의 송신 신호 전력을 조절하여 변조 심볼로 매핑하기 때문에 종래의 M-QAM에서 사용하는 정규화 인수 (Normalization Factor)를 사용할 수 없다. 본 논문에서는 3-level 계층 64QAM 기법의 정확한 정규화 인수를 구하기 위한 방법과 과정을 유도하여 제시한다.

Key Words : Quadrature Amplitude Modulation, Hierarchical Modulation, Normalization Factor

ABSTRACT

In this paper, we consider hierarchical modulation (HM), which has been widely exploited in digital broadcasting systems. In HM, each independent data stream is mapped to the modulation symbol with different transmission power and normalization factors of conventional M-QAM cannot be used. In this paper, we derive the method and formula for exact normalization factor of three-level hierarchical 64QAM.

I. 서 론

계층 변조 (Hierarchical Modulation)는 독립적인 각각의 데이터 스트림들의 송신 전력을 조절하여 변조 심볼로 매핑하는 기법으로 추가적인 대역폭 할당 없이 비균등오류보호(unequal error protection: UEP) 특성을 활용하여 전송 성능을 개선하는 방법으로 알려져 왔으며, ATSC (Advanced Television System Committee)와 DVB (Digital Video Broadcasting) 등의 디지털 방송 시스템 표준에서 계층 변조를 표준으로 채택하고 있다¹⁾.

일반적인 계층 변조는 송신 신호의 전력을 조절하여 HP (High Priority) 스트림과 LP (Low Priority) 스트림을 동일한 심볼로 변조하기 때문에 두 스트림의 성능 사이에 트레이드오프 (Trade-off)가 존재하여 최적화된 성능을 찾는 것이 어렵다. 채널의 특성에 따른 최적화된 계층 변조 파라미터를 찾는 과정에서 심볼 사이의 거리가 달라 종래의 M-QAM에서 사용하는 정규화 인수 (Normalization Factor)를 사용할 수 없다. [2]에서는 계층 16-QAM의 정확한 정규화 인수를 구하기 위한 방법 및 공식을 유도하였다.

그러나 [2]에서 고려한 계층 16-QAM은 HP와 LP 스트림만 존재하는 2-level 계층 구조만 고려하였기 때문에 고차 계층 변조의 정규화 인수를 유도하기 위한 방법 및 공식이 필요하다. 본 논문에서는 HP와 LP 그리고 MP (Medium Priority) 스트림까지 고려하는 3-level 계층 64QAM기법의 정확한 정규화 인수를 구하는 방법 및 공식을 유도한다.

II. 시스템 모델

그림 1과 같이 3-level 계층 64-QAM은 HP, MP, LP에 각각 2비트씩 할당하고 송신 전력을 조절하는 방식으로써 모든 정상점은 다음과 표현할 수 있다.

$$S_{HM}^{64QAM} = K(\pm \sqrt{2} d_1 e^{\pm \frac{\pi}{4} j} \pm \sqrt{2} d_2 e^{\pm \frac{\pi}{4} j} \pm \sqrt{2} d_3 e^{\pm \frac{\pi}{4} j}) \quad (1)$$

여기서 $2d_1$ 과 $2d_2$ 는 각각 가상의 HP 심볼

* 본 연구는 2015년도 서울과학기술대학교 교내연구비의 지원으로 수행되었습니다.

• First Author : Graduate School of NID Fusion Technology, Seoul National University of Science and Technology, youdongho@seoultech.ac.kr, 학생회원

o Corresponding Author : Graduate School of NID Fusion Technology, Seoul National University of Science and Technology, dongho.kim@seoultech.ac.kr, 종신회원

논문번호 : KICS2015-12-406, Received December 23, 2015; Accepted December 27, 2015

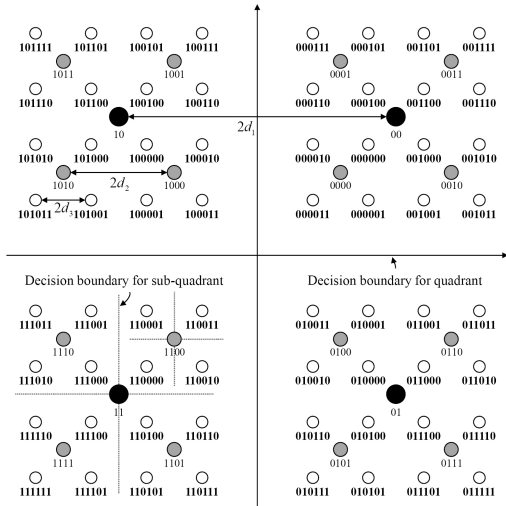


그림 1. 3-level 계층 64QAM의 constellation
Fig. 1. The constellation of three-level hierarchical 64QAM

(4-QAM, 검정색)과 가상의 MP 심볼 (16-QAM, 회색) 사이의 거리를 나타내며, $2d_3$ 는 실질적으로 전송되어지는 64-QAM 심볼 사이의 거리를 나타낸다. 그리고 K 는 3-level 계층 64-QAM 심볼의 평균 에너지 E_{AVG} 를 1로 정규화하기 위한 인수으로써 자세한 사항은 다음 장에서 다루도록 한다.

3-level 계층 64-QAM은 2-level 계층 16-QAM과는 다르게 송신 전력을 조절하는 파라미터를 두 개를 사용하며 다음과 같이 표현 할 수 있다.

$$\alpha = \frac{d_1 - d_2 - d_3}{d_3}, \quad \beta = \frac{d_2 - d_3}{d_3} \quad (2)$$

일반적으로 α 와 β 값이 1로 동일하면 매핑 방법에는 다소 차이가 있지만 종래의 Gray 매핑된 64-QAM과 동일하다고 볼 수 있다. 그리고 α 와 β 값들 중에서 하나 또는 두 개의 값 모두가 1보다 큰 값을 가진다면 이는 3-level 계층 64-QAM으로 볼 수 있다. 여기서 만약 α 가 증가하면 HP에 대한 성능은 향상되는 반면에 나머지 MP와 LP에 대한 성능은 상대적으로 저하된다. 그리고 이와 비슷하게 β 가 증가하면 MP에 대한 성능은 향상되는 반면에 나머지 HP와 LP에 대한 성능은 상대적으로 저하되는 트레이드오프가 존재한다.

III. 정규화 인수와 평균 심볼 에너지

본 장에서는 정규화 인수 K 를 이용해 변조된 심볼

S_{HM}^{64QAM} 의 평균 에너지 E_{AVG} 를 1로 정규화하기 위한 함수를 유도한다.

그림 2는 3-level 계층 64QAM의 1사분면을 보여준다. 여기서 R_n 와 I_k 는 각각 실수부와 허수부에 매핑되는 좌표를 나타내고, $S_{(R_n, I_k)}$ 는 실질적으로 전송되어지는 심볼을 나타낸다 (단, $n = k = 1, 2, 3, 4$). 성상도의 모든 분면들은 대칭적이고 또한 모든 심볼들은 동일한 공산을 가지고 있기 때문에 1사분면에 있는 심볼의 평균 에너지만 구해도 된다^[2].

앞서 언급한 것과 같이 3-level 계층 64QAM의 성상도는 d_1, d_2, d_3 에 의해 결정되므로 R_n 과 I_k 는 다음과 같이 표현 할 수 있다.

$$\begin{aligned} R_1 &= I_1 = d_1 - d_2 - d_3, & R_2 &= I_2 = d_1 - d_2 + d_3 \\ R_3 &= I_3 = d_1 + d_2 - d_3, & R_4 &= I_4 = d_1 + d_2 + d_3 \end{aligned} \quad (3)$$

따라서 각각의 심볼의 에너지 $|S_{(R_n, I_k)}|^2$ 는 다음과 같이 표현 된다.

$$|S_{(R_n, I_k)}|^2 = K^2 R_n^2 + K^2 I_k^2 \quad (4)$$

여기서 정규화 인수 K 은 다음과 같이 주어진다.

$$K = 1 / \sqrt{\frac{2 \times 4}{16} \left(\sum_{k=1}^4 R_n^2 \right)} \quad (5)$$

여기서 실수축과 허수축 중 한축만 구하고 2를 곱해주기 때문에 R_n^2 을 I_k^2 로 대체해도 무방하다. 그리고

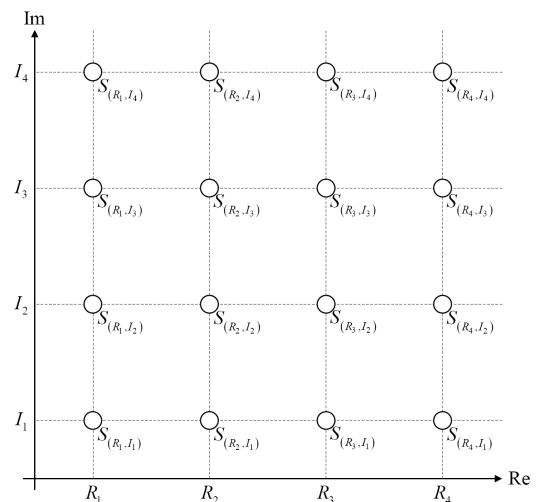


그림 2. 3-level 계층 64QAM 성상도의 1사분면
Fig. 2. The first-quadrant of three-level hierarchical 64QAM constellation

표 1. α 와 β 에 따른 정규화 인수 K 와 심볼간의 거리
Table 1. The normalization factor according to α and β and the distance between symbols

α	β	K	Distances between Symbols			Distances between normalized symbols		
			d_1	d_2	d_3	Kd_1	Kd_2	Kd_3
1	1	$1/\sqrt{42}$	4	2	1	0.6172	0.3086	0.1543
1	2	$1/\sqrt{70}$	5	3	1	0.5976	0.3586	0.1195
1	3	$1/\sqrt{106}$	6	4	1	0.5828	0.3885	0.0971
2	1	$1/\sqrt{60}$	5	2	1	0.6455	0.2582	1.1291
2	2	$1/\sqrt{92}$	6	3	1	0.6255	0.3128	1.1043
2	3	$1/\sqrt{132}$	7	4	1	0.6093	0.3482	0.0870
3	1	$1/\sqrt{82}$	6	2	1	0.6626	2.2209	0.1104
3	2	$1/\sqrt{118}$	7	3	1	0.6444	0.2762	0.0921
3	3	$1/\sqrt{162}$	8	4	1	0.6285	0.3143	0.0786

만약 $n = k$ 이면 $|S_{(R_n, I_k)}|^2 = 2K^2 R_n^2$ 또는 $2K^2 I_k^2$ 로 간소화 될 수 있다. 그리고 $n \neq j$ 이면 $|S_{(R_n, I_k)}|^2 = |S_{(R_k, I_n)}|^2$ 이다.

따라서 위 수식들을 바탕으로 평균 심볼 에너지 E_{AVG} 는 다음과 같이 유도 될 수 있다.

$$E_{AVG} = \frac{1}{16} \left(\sum_{n=1}^4 \sum_{k=1}^4 |S_{(R_n, I_k)}|^2 \right) = 2K^2 (d_1^2 + d_2^2 + d_3^2) = 1 \quad (6)$$

그리고 정규화 인수 K 는 위 식 (6)을 통해 식 (7)과 같이 구해 질 수 있으며, 이는 식 (5)보다 간소화된

방식으로 3-level 계층 64-QAM의 정규화 인수를 구할 수 있다.

$$K = 1/\sqrt{2(d_1^2 + d_2^2 + d_3^2)} \quad (7)$$

표 1은 α 와 β 의 변화에 따른 정규화 인수 K 와 심볼간의 거리를 정규화 전·후로 보여준다. 정규화 된 심볼간의 거리에서 볼 수 있듯이 앞선 장에서 언급한 트레이드오프를 확인 할 수 있다. 또한 이 트레이드오프는 그림 3에 나타난 BER (Bit Error Rate) 성능 결과를 통해서도 확인 할 수 있다.

V. 결 론

본 논문은 3-level 계층 64-QAM의 정확한 정규화 인수를 구하는 방법을 유도하였으며, 정규화된 심볼간의 거리에 따른 성능을 통해 3-level 계층 64-QAM의 HP, MP, LP 간의 성능을 확인하였다.

References

[1] S. Lee, et al., "Transmission performance analysis for terrestrial digital broadcast system according to hierarchical modulation factor (α)," *J. KICS*, vol. 37A, no. 9, pp. 728-737, Sept. 2012.

[2] Z. Yim and S. Jeon, "Normalization factor of hierarchically modulated symbols for advanced T-DMB system," *IEEE Trans. Broadcasting*, vol. 57, no. 3, Sept. 2011.

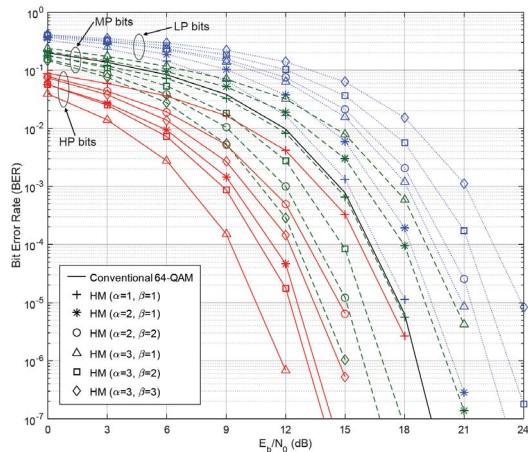


그림 3. 3-level 계층 64QAM의 BER 성능 (AWGN 채널)
Fig. 3. The BER performance of three-level hierarchical 64QAM over AWGN channel